

1. JP 07-502938 A (D1)
2. Patent family member WO 92/10343 A1 (R1)

Note:

Examiner's findings on page 5, left-below column, lines 1-10, of D1 are corresponding to the descriptions on page 17, line 32 to page 18, line 18 of R1.

1. JP 07-502938 A (D1)
2. Patent family member WO 92/10343 A1 (R1)

Note:

Examiner's findings on page 5, left-below column, lines 1-10, of D1 are corresponding to the descriptions on page 17, line 32 to page 18, line 18 of R1.

(19) 日本国特許庁 (J P)

(12) 公表特許公報 (A)

(11) 特許出願公表番号

特表平7-502938

第2部門第4区分

(43) 公表日 平成7年(1995)3月30日

(51) Int. Cl.⁴
B 29 C 67/00識別記号 庁内整理番号
2126-4 F

F I

審査請求 未請求 予備審査請求 有 (全11頁)

(21) 出願番号 特願平4-502867
 (86) (22) 出願日 平成3年(1991)12月6日
 (85) 翻訳文提出日 平成5年(1993)6月7日
 (86) 国際出願番号 PCT/US91/09313
 (87) 国際公開番号 WO92/10343
 (87) 国際公開日 平成4年(1992)6月25日
 (31) 優先権主張番号 624, 419
 (32) 優先日 1990年12月7日
 (33) 優先権主張国 米国 (US)
 (81) 指定国 EP (AT, BE, CH, DE, DK, ES, FR, GB, GR, IT, LU, MC, NL, SE), AU, BG, BR, CA, CS, FI, HU, JP, KP, KR, MN, NO, PL, RO, SU

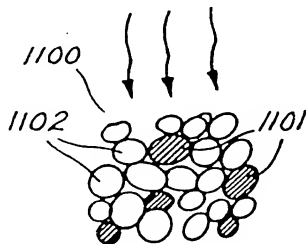
(71) 出願人 ボード・オブ・リージェンツ、ザ・ユニバーシティ・オブ・テキサス・システム
 アメリカ合衆国テキサス州78701, オースティン, ウェスト・セブンス・ストリート201
 (72) 発明者 ボーレル, デヴィッド・エル
 アメリカ合衆国テキサス州78749, オースティン, ウルフ・ラン 5403
 (72) 発明者 マーカス, ハリス・エル
 アメリカ合衆国テキサス州78759, オースティン, ハイリッジ 4102
 (74) 代理人 弁理士 湯浅 恭三 (外5名)

最終頁に続く

(54) 【発明の名称】 前駆物質粉末の化合物形成による部品の製造

(57) 【要約】

粉末の層を選択的に焼結させて複数の焼結層からなる部品を製造するための方法および装置。この装置は、レーザーエネルギーを粉末上へ方向づけて焼結素材を製造すべくレーザーを制御するコンピュータを含む。このコンピュータは部品の目的とする断面領域の境界を決定するか、またはそれにつきプログラムされている。各断面につき、レーザービームの照準が粉末層上を走査され、断面の境界内の粉末のみを焼結させるべくビームがスイッチオンされる。完成部品が成形されるまで、粉末が付与され、層が順次焼結される。好ましくは粉末は、異なる解離または結合温度を有する複数の材料からなる。粉末は、好ましくはブレンドまたは被覆された材料からなり、これには照射位置において塊状となり、レーザーの熱エネルギーのため、または後続の加熱処理において反応して、前駆物質と異なる特性を備えた化合物を形成する前駆物質が含まれる。1または2以上の前駆物質のものより著しく高い融点を有する化合物が形成される例が開示される。



請求の範囲

1. 部品の製造方法において、
粉末をターゲット表面に堆積させ、該粉末は第1および第2材料からなり、
部品の断面領域を定めるべく選ばれた部分の粉末を加熱し；そして
部品の該断面領域内の第1および第2材料を反応させて、第1および第2材料の化合物を形成する
ことを含む方法。
2. 加熱工程が粉末を第1材料の融点と第2材料の融点の温度に加熱するものである、請求の範囲第1項に記載の方法。
3. 該化合物の融点が第1材料の融点より高い、請求の範囲第2項に記載の方法。
4. 該化合物の融点が、選ばれた部分の粉末を加熱工程において加熱する温度より高い、請求の範囲第3項に記載の方法。
5. さらに
加熱工程後に第2層の粉末を堆積させ；そして
部品の第2断面領域を定めるべく選ばれた部分の第2層の粉末を加熱することを含む、請求の範囲第1項に記載の方法。
6. 反応工程が、
第2層の粉末を加熱する工程のうち、部品の定められた断面内に含まれない部分の粉末を除去し；そして
除去工程後に部品を加熱する
こととなる、請求の範囲第1項に記載の方法。
7. 反応工程が加熱工程の間で行われる、請求の範囲第1項に記載の方法。
8. 加熱工程が、
選ばれた部分の粉末にエネルギービームを指し付ける
こととなる、請求の範囲第1項に記載の方法。
9. 指し付け工程が、
選ばれた部分の粉末にレーザービームを指し付ける

- 第2層の粉末を加熱する工程のうち、部品の定められた断面内に含まれない部分の粉末を除去し；そして
除去工程後に部品を加熱する
こととなる、請求の範囲第1項に記載の方法。
21. 反応工程が加熱工程の間で行われる、請求の範囲第1項に記載の方法。
 22. 第1および第2材料が金属である、請求の範囲第1項に記載の方法。
 23. 該化合物が第1材料の融点より高い融点を有する金属化合物である、請求の範囲第2項に記載の方法。
 24. 第1および第2材料がセラミックスである、請求の範囲第1項に記載の方法。

こととなる、請求の範囲第8項に記載の方法。

10. 第1材料がスズよりなる、請求の範囲第1項に記載の方法。
11. 第2材料がニッケルよりなる、請求の範囲第1項に記載の方法。
12. 第2材料がニッケルよりなる、請求の範囲第1項に記載の方法。
13. 第1材料がアルミニウムよりなる、請求の範囲第1項に記載の方法。
14. 第1および第2材料が金属である、請求の範囲第1項に記載の方法。
15. 第1および第2材料がセラミックスである、請求の範囲第1項に記載の方法。
16. 反応工程により形成される化合物が不安定な化合物である、請求の範囲第1項に記載の方法。
17. 反応工程により形成される化合物が準安定な化合物である、請求の範囲第1項に記載の方法。
18. 粉末をターゲット表面に堆積させ、該粉末は第1および第2材料からなり、
部品の断面領域を定めるべく選ばれた部分の粉末を加熱し；そして
部品の該断面領域内の第1および第2材料を反応させて、第1および第2材料の化合物を形成する
工程を含む方法により製造された部品。
19. 加熱工程が粉末を第1材料の融点と第2材料の融点の温度に加熱するものであり、
かつ該化合物の融点が、選ばれた部分の粉末を加熱工程において加熱する温度より高い
請求の範囲第18項に記載の部品。
20. 該方法がさらに
加熱工程後に第2層の粉末を堆積させ；そして
部品の第2断面領域を定めるべく選ばれた部分の第2層の粉末を加熱することを含む、
かつ反応工程が、

明 細 書

前駆物質粉末の化合物形成による部品の製造

本発明は、粉末を選択的に堆積させて部品を製造するために有向エネルギービーム (directed energy beam) を用いる方法および装置に関するものである。特に本発明は、複数の粉末層を順次堆積させて目的部品を層層方式で (layer-by-layer fashion) 形成する、コンピュータ管理レーザー装置に関するものである。本発明は特に粉末が2以上の結合温度または解離温度を有する、複数の材料からなる粉末を対象とする。
発明の背景

通常の部品製造法に伴う経済性は、一般に製造される部品の量および最終部品の目的とする材料特性に直接関係する。たとえば大規模製造法によるキャスティングおよび押出し法は経済的に有効である場合が多いが、これらの製造法は少量品、たとえば交換部品または原型品の製造には一般に受け入れられない。このような一般的な部品製造法の多くは高価な部品固有の成形用具を必要とする。粉末冶金法では粉末を成形するためのダイを必要とし、これは粉末冶金法を少数の部品の製造法としては効力がないものになっている。

少数の部品が必要であるにすぎない場合、通常は目的部品を製造するために減法 (subtractive) 機械加工法を伴う一般的な製造法が用いられる。このような減法方式においては、材料の出発ブロックから材料を切削除去して、より複雑な部品を製造する。減法式機械加工法の際には、フライス削り、凡あり、削削、旋削切断、突切断、旋削機械などが使われる。これらの一般的な機械加工による減法式方法は、通常は目的部品の製造に有効であるが、それらは多くの面で欠陥がある。

第1に、それらの一般的な機械加工による減法式方法は廃棄される大量の原材料を生じる。さらにそれらの機械加工法は、通常は適切な機械加工プロトコールおよび工具を設置するために多大な設備費を伴う。そのため、設置時間は経費がかかるだけでなく、人間の判断および専門知識に大に依存する。これらの問題

はもちろん、少数の部品を製造したいにすぎない場合は悪化する。

これらの一般的な機械加工法に付随する他の利点は、工具の摩耗に關するものである。これは交換時間を伴うだけでなく、工具の摩耗に伴って機械加工の精度も低下する。一般的な機械加工法により製造された部品の精度および許容差に対する他の利点は、個々の機械工具に關する内容が異なる。たとえば一般的な加工工程または製造においては、磨きおよび研磨 (way) はある許容差にまで加工され、これがその機械工具により部品を加工するに用いられる許容差を制限する。もちろん磨きと研磨は機械加工の要素と見なされる。

これらの一般的な機械加工による減法方式法に付随する他の利点は、多数の部品形状を形成するのが困難または不可能なことである。すなわち一般的な機械加工法は通常は対称的な部品、および外側部分のみが機械加工される部品の製造に適する。しかし目的部品の構造の形状でないか、または内部構造を含む場合、機械加工はより困難になり、製造のために部品をセグメントに分割しなければならぬ場合が極めて多い。多くの場合、その部品に対する工具の配置に課された制限のため、特定の部品形状は不可能である。たとえば切削工具の寸法および形状では、目的とする形状のものを製造するためにその工具を調整することができない。

加法的である他の機械加工法があり、たとえばめっき、クラッド法および各種の積層法は出発材料に材料が追加されるという点で加法的である。近年、出発材料を材料を被覆または積層するためにレーザービームを利用する他の加法的機械加工法が提供された。一例は、米国特許第4,117,302、4,174,474,861:4,300,474および4,323,756号明細書が含まれる。これらの最近のレーザーの利用は主として予備機械加工された物品に積層を付加することに関連している。しばしばそれらのレーザー被覆法は、このような被覆法によってのみ得られる特定の幾何学的特性の達成に用いられている。一般にそれらのレーザー被覆法においては、被覆材料を物品に吹き付けながら出発物品を回転させ、レーザーは固定された位置に向けられ、これによりレーザーが被覆を物品上に積層させる。

とである。

本発明の他の目的は、化学反応を経こさせる後処理を含む方法を提供することである。

本発明の他の目的および利点は以下の詳述を圖面と共に参照することにより当業者に明らかになるであろう。

発明の概要

以上に概観した問題は、本発明の方法および装置によって大幅に解決される。本発明は有向エネルギービーム—たとえばレーザー—を含むものであり、ほとんどすべての三次元部品の製造に利用する。本発明の方法は加法的であり、粉末がターゲット領域内に計量分配され、ここでレーザーが選択的に粉末を堆積させて堆積層を形成する。本発明は、完成部品が形成されるまで層を互いに結合させる積層方式である。本発明の方法は特定の種類の粉末に適用されるものではなく、プラスチック、金属、ポリマー、セラミック、ろう、半導体もしくは非晶質粉末または各種材料粉末に適用する。

おまかには本発明の装置には、部品が製造されるターゲット領域にビームを送出するための選択性を有するレーザーその他の有向エネルギー源が含まれる。粉末計量分配システムが粉末をターゲット領域内に堆積させる。レーザー制御機構が動作してレーザービームの順序を移動させ、レーザーを調整させて、ターゲット領域内へ堆積した粉末の層を選択的に堆積させる。制御機構は、定められた境界内に分配された粉末の層を選択的に堆積させて部品の目的層を形成すべく動作する。制御機構は、粉末の層を相次選択的に堆積させて互いに堆積した複数の層からなる完成部品を製造すべくレーザーを操作する。各層の堆積された境界は部品の各断面領域に対応する。好ましくは制御機構は各層に予め定められた境界を決定するためのコンピュータまたはしくはCAD/CAMシステムを含む。すなわち全体的な寸法および形状が与えられコンピュータが各層につき定める境界を決定し、この定められた境界に従ってレーザー制御機構を操作する。あるいはコンピュータを各層の定められた境界につき最初にプログラムしておくことができる。

米国特許第4,944,817、4,864,538、4,938,816号および国際特許出願公開第8/02677号(1988年4月21日公開)明細書—この意及によりこれらすべてのここに引用される—には、各種の減法式および加法的な方法がもつた印刷機をもたないCAD/データベースから直接に複雑な部品を製造する方法が記載されている。これらの減法式方法は「選択的レーザー焼結法」または「選択的レーザー焼結法」と呼ばれるであろう。選択的レーザー焼結法は部品の原型を形成するのに特に有利であり、それらの部品を次いでインベーストメント鋳造により、または成形機を用いて大量生産することである。

選択的レーザー焼結法を、後述の大量生産部品の原型を製造するためだけでなく、実際に機械において用いるのに適した部品を製造するために利用することが望ましい。このようないくつかの部品は、その部品およびそれが組み込まれるシステムの構造デザインを反映するために有用な型でもある。さらに最終実装部品において使用する部品を製造することが望ましい。

実際に使用するための部品の材料は、その用途の機械および温度的な力要求条件を満たすのに十分な硬度およびインテグリティのものでなければならぬ。従って選択的レーザー焼結法による金属間化合物 (intermetallic) およびセラミック (ガラスを含む) の部品を形成することが望ましい。しかし多くの望ましい金属およびセラミックの粉末は、有向エネルギービーム、たとえばレーザービームによる選択的焼結または溶融を堆積または容易に達成し、たとえ高い温度または高い温度を要する。

従って本発明の目的は、複数の材料粉末の選ばれた部分にエネルギーを付与することによる部品の製造法を提供することであり、その製造された部品の材料の特性は粉末中の材料のものと同様である。

本発明の他の目的は、製造される部品の表面硬度は有向ビームが粉末に付与する硬度より高いものを用いる方法を提供することである。

本発明の他の目的は、用いられる材料が積層またはセラミックである方法を提供することである。

本発明の目的は、部品の材料が粉末成分の化合物である方法を提供すること

好ましい形態においては、レーザー制御機構はレーザービームをターゲット領域に指し向けられた領域、およびレーザービームをオン/オフ電源としてターゲット領域内の粉末を選択的に堆積させるための機構を含む。1形態においては、この指し向け機構 (directing mechanism) はレーザービームの順序をターゲット領域の連続するスライス面により移動させるべく移動する。制御機構は、レーザービームの順序が各層に予め定められた境界内にある時のみ粉末が堆積されるようにレーザービームをオン/オフ操作する。あるいは指し向け機構はレーザービームをその層につき定められた境界内のみを照射させ、これによりその層につき定められた境界内にある粉末を堆積させるべくレーザービームを選択的にオン/オフして行うことができる。

好ましくは形態においては、指し向け機構が、機械計量により移動される一列のレーザーを用いてターゲット領域の部材のラスタースライス面によりレーザービームを移動させる。第1ラスタースライス面を第2ラスタースライス面と、これがレーザービームをターゲット領域内に照射させる。第1ラスタースライス面は移動によりラスタースライス面と、レーザービームがターゲット領域内で一般に1方向に移動する。同様に、第2ラスタースライス面は移動によりラスタースライス面と、レーザービームがターゲット領域内で一般に2方向に移動する。好ましくは、これらのラスタースライス面と第2ラスタースライス面は互いに垂直であるように互いに照射される。このような照射パターンにより、本発明の好ましくは照射されるラスタースライス面を含めて、ターゲット領域内でのレーザービームの多数の異なる種類の走査パターンが可能となる。

本発明の部品製造法には、第1部分の粉末をターゲット表面に堆積させ、有向エネルギービーム (好ましくはレーザー) の照射をターゲット表面に当て置き、そして第1粉末部分の第1層をターゲット表面で堆積させる工程が含まれる。第1層は部品の第1断面領域に相当する。粉末はビームの順序が第1層を定める境界内にある時に有向エネルギービームを動作させることにより照射される。第2部分の粉末を第1堆積層上に堆積させ、レーザービームの順序を第1堆積層上で動作させる。第2粉末部分の第2層はビームの順序が第2層を定める境界内にある時

に何両エネルギー源を作動させることにより焼結される。また第2層の焼結により第1層と第2層が結合して融着素材 (cohesive mass) となる。該接部分の粉末が先に焼結した層上に堆積され、各層が順次焼結される。1形態においては、粉末がターゲット内へ連続的に堆積される。

好ましい形態においては、ビームの照射がその境界内に向けられている時にのみ粉末が堆積されるように、ラスタ一定量に達してレーザービームがオン/オフされる。好ましくはレーザーはコンピュータにより制御される。コンピュータにはCAD/CAMシステムが含まれる。この場合コンピュータに製造すべき製品の全体的な形状が与えられ、コンピュータが製品の各断面領域の境界を決定する。この定められた境界を用いて、コンピュータは各層の焼結を製品の断面領域に対応して制御する。他の形態においては、コンピュータは単に製品の各断面領域の境界につきプログラムされる。

さらに本発明の他の形態には、複数の材料からなり、それら複数の材料が2以上の焼結温度を有する粉末が含まれる。本発明のさらに他の形態においては、粉末が複数の材料からなり、それら複数の材料が2以上の焼結温度を有する。

本明細書全体において用いられる結合語は、加熱温度、軟化温度および結合強度が含まれる。これらに関連しない。

本発明の好ましい形態すべてにおいて、複数の材料は少なくとも1種類の第2材料とブレンドした少なくとも1種類の第1材料、または少なくとも1種類の第2材料で被覆された少なくとも1種類の第1材料からなる。

以上の一般的記載から認められるように、本発明の方面および装置は既知の部品製造技術に付随する問題の多くを解決する。第1に、本発明は原形部品の製造または複製された量の交換部品の製造に好適である。さらに本発明の方面および装置は、一般的な製造法によって迅速且つ誤りな複雑な形状の部品を製作することができる。さらに本発明は、部品の製造に際して得られる許容差に対する制御因子としての工具の摩耗および機械的設計を排除する。最後にCAD/CAM環境に組み込まれた本発明の装置を用いて、多数の交換部品をコンピュータ内にプログラムすることができ、ほとんど設定または人間の介入なしに容易に製造す

ることができる。

本発明による方法は、複数の材料粉末中の成分材料のものとは異なるまたは2以上の特性を備えた材料の部品を製造するために利用することである。複数の材料粉末の個々の特定の位置に熱エネルギーが与えられることにより、そのエネルギーを受けた位置の粉末において化学反応を生じ、安定または準安定な化合物を形成させることができる。この反応は何両エネルギーが与えられている層に起こるものであってもよく、あるいは何両エネルギーがその特定の位置において材料を溶融または焼結させて壊壊となし、該融の熱融層により化学反応を起こせることもできる。この化合物は粉末成分のいずれの特性とも異なる性質を有する。たとえば非常に高い機械強度を有する。その結果、他の場合には通常的なレーザーまたはビーム焼結を実現し得ない材料から部品を製作することができる。

図面の要部説明

- 図1は、本発明の装置の概略図である；
- 図2は、本発明に従って製造される部品の焼結形態の一部を示す横断面図であり、ターゲット領域内におけるレーザービームのラスタ一定量パターンを有する；
- 図3は、本発明のコンピュータ、レーザーおよび焼結時間のインターフェイスハードウェアを示すブロック図である；
- 図4は、本発明に従って製造される併示部品の透視図である；
- 図5は、図4に示した部品の一端を取り去ったファントム (phantom) 状の断面図である；
- 図6は、本発明に従ったデータ測定プログラムのフローチャートである；
- 図7は、図6のステップ7に付随する図の断面図である；
- 図8は、図7の層上におけるレーザーの第一横線と本発明の制御信号との相関を線図の形で示したものである；
- 図9は、粉末状態材料のブレンドを示す；
- 図10は、粉末状の被覆された材料を示す；
- 図11は、材料ブレンドについての焼結サイクルの一部を、現在理解されているものに比べて示す；

図1は、焼結層の堆積した2種類の材料を示す；

図13および14は、本発明で別形態に使用しうる2元系合金の相図である。
好ましい形態の装置説明

図面を参照すると、図1は本発明による装置10をおおまかに示す。おおまかには装置10はレーザー12、粉末デスペンサ14、およびレーザー制御システム16を含む。より詳細には、粉末デスペンサ14は粉末22を受容するための、出口24を備えたホッパー20を含む。出口24は粉末ターゲット領域26—これは図1においては一般的に粉末領域 (contaminant structure) 28により定められる—へ計量分配すべく配向される。もちろん粉末22を計量分配するためには多数の別形態がある。

レーザー12の構成部品図1においては若干機式的に示され、これにはレーザーヘッド30、安全シャッター32、およびフロントリフレクタセンサ34が含まれる。用いるレーザーの種類は多数の因子に依存し、特に焼結すべき粉末22の特性に依存する。図1の形態においては、連続モードの100ワット最大アウトプット能力より複雑または高速モードで動作するN₂ YAGレーザー (レーザーノットリックス9500Q) を用いた。レーザー12のレーザー出力は概算的1060nmを有し、これは近赤外線である。図1に示したレーザー12は、選択可能範囲約1-40キロヘルツの内部/パルスレート調節器、および約6ナノ秒のパルス持続時間を含む。パルス型または連続型いずれのモードにおいても、一般に図1に示す時間と速度に付随して進行するレーザービームを選択的に発生させるためにレーザー12をオン/オフ変更することができる。

レーザービームを収束させるために、図1に示すようにレーザービームの進行道路に沿って発散レンズ36および収束レンズ38が配置される。収散レンズ36を用いただけでは、収散レンズ38とレーザー12間の距離を変更することによりその焦点の位置を制御することは容易なはず。レーザー12と収散レンズ38の間に配置された発散レンズ36は、収散レンズ36とレーザー12の間に虚焦点 (virtual focal point) を形成する。収散レンズ38と虚焦点の距離を変更することにより、真の焦点を収散レンズ38の

レーザービーム進行道路に沿ってレーザー12から離れた方へ制御することができ、近年光学分野で多くの進歩があり、レーザービームを既知の位置に効率的に収束させる別形態が多数得られることが認められる。

より詳細には、レーザー制御手段16はコンピュータ40および産業システム42を含む。好ましい形態においては、コンピュータ40はレーザー12を制御するためのマイクロプロセッサ、およびデータを作成するためのCAD/CAMシステムを含む。図1に示した形態においては、その初期属性 (primary attribute) にアクセス可能インターフェイスポート (accessible interface port) およびマスキング不能な読み (nonmaskable interrupt) を含むフラグライン (flag line) が含まれるパーソナルコンピュータ (コンモドル (Commodore) 64) を使用する。

図1に示すように、産業システム42はレーザービーム進行道路の方向を両側示すためのプログラム44を含む。もちろん装置10の物理的レイアウトは、レーザービームの進行道路を操作するためにプログラム44または複数のプログラム44が必要であるか否かを決定する際に最初に考慮すべきことである。産業システム42も、それぞれ焼結計48、49により駆動される一對のミラー46、47を含む。焼結計48、49はそれらの各ミラー46、47と対をなし、ミラー46、47を選択的に配向させる。焼結計46、47はミラー46、47が公称上互いに直線に向けられているように、互いに直線に配向する。燃焼発生器駆動装置50は、レーザービーム (図1に示すように) の前駆ターゲット領域26内に照射しようとする、焼結計48の移動を制御する (焼結計49は焼結計48の移動に連動する)。駆動装置50は、図1に示すようにコンピュータ40に動作可能状態 (operatively) 連絡している。産業システム42として用いられるものには多数の進歩を用いることが可能である。これには光学システム、回折式多ミラー、および共振ミラーシステムが含まれる。

図面の図2を参照すると、部品52の一部が機式的に図示され、これは4層5

4-57を示す。図2において64と表示されたレーザービームの照射は66におけるようなスラスト走査・ターン状に指向し行われる。ここで用いる“照射”は方向を指示するあいまいな用語として用いられるが、レーザー12の電波状態は常に一定、便宜上、軸68を高度走査軸とみなし、一方では軸70を低高度走査軸と称す。軸72は部品形成方向である。

図9および10を参照すると、それにより本発明を利用して部品を製造する複数の材料からなる粉末が図示される。簡略化のために、これらの図面には2種類の材料のみを示す。しかし当業者に自明のとおり、複数の材料が本発明の粉末を構成してもよい。

図9は第1材料901および第2材料902のブレンドを示す。これらの材料は一般的なブレンド法によるブレンドとして混合される。図10は材料1001で置換された材料1002を示す。材料1002は一般的な置換法により置換される。

さらに当業者に自明のとおり、図10に示す置換された材料をブレンドして、目的とする材料100を製造することができる。

図11を参照すると、現在理解されているものとしての焼結サイクルの一部が示される。図11aは、焼結を生じうるエネルギーを付与する前の材料ブレンドを示す。すなわち粉末材料1100を構成する材料は2以上の粉末または解離温度を有する。図11bは、焼結を促進する十分なエネルギーを付与している際の材料1100を示す。図11bは、材料1102より低い結合または解離温度を有する材料1101を示す。すなわち11bにおいては、低融点材料1101は材料1101の各粒子を明確に覆った粉末材料1100に浸透する。同様に浸透するために、追加の粉末成分をブレンドに添加することもできる。同様に浸透および焼結過程を促進するために添加を用いることもできる。すなわちこれは目的の物体を溶解するために、または目的とする物体を調製するために、費用は不効率的または活性のいずれであってもよい。図11aは、その作用（毛管作用を含む）が、これに限定されないにより材料1101を粉末材料1100に浸透させる溶剤のメカニズムを示す。図11bは、本発明における焼結後の部品を示す。

一をポリ（メチルメタクリレート）（PMMA）ポリマーで置換して粉末となすことができる。焼結によりPMMAが流動して金属を結合させる。後続処理であるアニーリングによってPMMAが溶解し、金属が焼結して、最終部品が得られるであろう。

この方式でセラミック材料を処理することもできる。たとえばフルオロリン酸塩ガラス粉末とアルミナ粉末の混合物は、焼結過程でガラスが酸化し、アルミナに付着するであろう。他の例においては、ケイ酸シリカ、二酸化シリカその他のセラミック粉末を多様な方法でポリマーによって包被することができ、これには焼結促進および溶剤浸透が含まれる。後述のように表面活性剤を用いてセラミック粉末を予備処理することができる。この物質はポリマーによるセラミックのぬれ、およびポリマーへのセラミックの付着を促進することが知られる。有機シリコン化学その他の化学に基づくものであっても、無機性または無機性いずれであっても、セラミック上に付着したポリマーはすべて結合剤として使用しうる。一般的材料にはPMMA、ポリスチレン、各種エポキシ樹脂結合剤およびフェノール樹脂が含まれる。

粉末中の少なくとも1種の材料が粉末中の他の材料に對比して低い結合または解離温度を有する材料の組み合わせは、いずれも、本発明による部品の製造が可能である。これには金属、セラックスおよびポリマーが含まれるが、これらに限定されない。

本発明の他の好ましい形態においては、一般的な加熱手段により粉末材料の温度を高めることができる。これによりエネルギービームは即ちエネルギーをわずかに高めるだけで粉末の要素材料1つを結合または解離させることができる。

粉末を構成する材料は、各材料のレーザービーム（図11aおよび11bにおいて矢印で示す）からのエネルギーの選択的吸収に基づき選ばれることができる。図11に示す好ましい形態においては、矢印で表された付与されたビームのエネルギーを材料1101が吸収し、一方、要素材料1102はこれより少ないエネルギーを吸収し、これにより要素材料1102が結合または解離する前に要素材料1101が結合または解離しうる。このエネルギー一般性は材料もしくはレーザービームの

焼結過程で得られる温度より高い結合または解離温度を有する材料を選択することができ、より高い結合または解離温度を有する材料は焼結する必要はなく、その構造を維持しうる。特に結晶質材料については、これにより本発明の選択的ビーム焼結法におけるエディンゲン成長を制御することができる。たとえば、より高い結合または解離温度を有する材料が好ましくは先行する層からのエディンゲン成長をもたす可能性のある特定の構造内に配置される場合、より低い結合または解離温度を有する材料を結合または解離させるだけで、より高温の材料はその構造を維持しうる。

粉末として選ばれた材料の選択によって広範な焼結材料を得ることができる。たとえば導電性材料を好ましくは絶縁性ポリマー材料で置換して、粉末を調整する。以下でこの粉末をターゲット領域に分布させる。材料を好ましくは焼結させ、のちに絶縁材料を常法（化学的方法が含まれるが、これに限定されない）により除去して、導電性の焼結製品を得ることができる。

他の例としては、極度に硬質の材料を本発明により製造することができる。たとえばそれらの硬度な硬さのため成形または切削するのが困難である炭化タングステン/コバルト工具が、炭化タングステン材料をコバルトで置換して粉末を調整することにより、または炭化タングステンおよびコバルトをブレンドして粉末を調整することにより製造される。焼結に際して、付与されたエネルギービームで好ましくはコバルトが溶融し、炭化タングステンの箇所を溶融を生じ、製造された部品は、好ましくは二次処理・アニーリングが含まれるが、これに限定されない一後に使用可能な状態となる。

さらに他の例としては、鋼およびスチールを粉末状で置換することができる。鋼より低い溶融温度を有するスズが焼結に際して粉末を溶解するであろう。

本発明により製造された部品に二次工法を施すこともできる。たとえばスチールを焼結に際して溶解させた後に溶接させる場合、焼結処理であるアニーリングによって固相状態でスズが鋼に溶解し、最小の容量変化またはゆがみにおいて青銅が形成されるであろう。

さらに他の例としては、金属-セラミックス層が含まれるが、これに限定されない

長いいずれか、または両者の選択により、多数の組み合わせにおいて連続することである。

本発明の他の形態においては、選ばれた部分の粉末に対する有向エネルギービームの付与を利用して、粉末中の構成材料の化学反応を行うことができる。この形態においては、粉末は選択すべき化合物の複数の前駆物質、たとえば元素の混合物または合金粉末を含み得る。この選択的レーザー照射法による有向エネルギービームのエネルギーにより、その有向ビームが照射された位置の各前駆物質に要素が形成される。部品は、前記のように粉末をターゲット位置に配置し、層の選ばれた部分を選択的にレーザー照射または結合させる。層間方式で要素を形成する層間法により形成される。この過程が完了した時点で、有向エネルギービームで照射されなかった部分の粉末は前記のようにより除去される。

レーザー照射中、または選択的レーザー照射後のアニーリングに際して、照射された位置の前駆物質が相互反応し、化学反応に基づく新しい相の材料が得られる。この新たな相は、すなわちは無機物質のいずれかまたは有機物質の特性を備えている。これらに異なる特性の例は物理的、機械的、層間法または電気的性質が含まれる。

たとえばその意図する用途において高温を受けるはずの部品は、好ましくは高温点材料で作成される。しかし高温点材料は、粉末を溶融または焼結させて材料となすにはレーザーパワーが一般に不十分であるため、選択的レーザー照射法に用いるのには不適当である。本発明のこの形態によれば、それらに部品を製造する高温点材料は前駆物質の配合物であり、それらのうちの1種が比較的低い融点を有する。

たとえば高温点を有する化合物A.B.を選ぶことができ、その元素成分AおよびBは混合粉末状で存在する。化合物の成分に密着する固相溶解性がある系-その場合mおよびnは整数ではない-についてこの方法を用意しうることに注意すべきである。化合物A.B.の選択においては、ある種の考慮が重要である。第1に、レーザー（または他の有向エネルギービーム）のパワー特性が、望みの融点を有する材料を溶融させることができ、一方で高い方の融点を有する材料

を溶融させないものとなるように、少なくとも2種の前駆物質元素AおよびBの融点に差を有せなければならない。レーザーは低融点粉末を溶融させるために要される熱的パワーをすべて供給する必要はないことを留意すべきである；粉末の周囲温度を低い方の融点付近に維持することができ、従ってレーザーパワーは所望位置の低融点前駆物質を溶融させるのに十分であり、たとえば非照射位置のものは溶融させないものである。第2に、目的特性（たとえば高い融点）を備えた、前駆物質の化合物A、Bが存在しなければならない。第3に、時間的に有効な種式化学反応を実施しうるのである。反応速度を制御する前駆物質が他の前駆物質中および上記化合物中への高い化学反応性を備えていることが望ましい。第4に、全体像のうち低融点前駆物質の体積分率が有意であり、好ましくは25〜75%であって、前駆物質が非溶融前駆物質に十分に溶浸して高密度部品が得られることが望ましい。

一般に本発明のこの形態による単相二元化合物A、Bは下記の反応により得られる：



あるいは成分である前駆物質の1種を選択適用して、2相生成物を調成することができる。たとえば過剰量の前駆物質Aを用いると、下記の反応が起こる：



ある系につき2種の化合物が存在する場合、粉末中の前駆物質の量を適切に制御することにより下記の反応に従って2化合物物を含む生成物を製造しうる：



図13は、本発明のこの形態により形成する二元化合物の第1の好ましい例

の形状を維持することができる。あるいは、金属間化合物の形成が開始するに十分な期間の低温（たとえばスズの融点より低い）アニーリングから開始し、続いてより急速に処理を完了するための高温アニーリングを行うことによって、アニーリングを段階的に実施してもよい。

再び図13を参照すると、この化合物の融点は1260度のオーダーである。化合物Ni_{1.8}Snの低い融点値は、選択的レーザー焼結の状況におけるレーザー照射によっては実際に達成することができず、この方法で用いる25ワットCO₂レーザーによってはいっそう達成し得ないことを留意すべきである。本発明のこの形態の結果、低温焼結によって高融点材料の部品を形成することができる。従ってこの方法は選択的レーザー焼結法を適用しうる材料の範囲を拡大し、耐熱化合物、たとえば金属間化合物Ni_{1.8}Snを含む。この材料で作成された部品はポリカーボネート、プラスチックその他の電気材料で作成された部品よりはるかに熱的および機械的条件に耐えるので、これらの部品はその部品を組み込んだ装置、および実際の最終装置に取り付けた装置により作成された部品の強度または機能性の試験などの用途に使用しうる。

図14には、本発明のこの形態による方法に用いるのに適した他の金属間化合物系、すなわちニッケルおよびアルミニウムの元素についての相図を示す。目的とする系の二元金属間化合物は1638度の融点を有するNi_{1.4}Alである。Ni_{1.4}Alは極めて高い温度に耐えることができ、一方で融点および耐食性に対する向上した強度および良好な低温度性を維持するため、宇宙空間などにおける用途にとって魅力的な材料であると考えべきである。この系に、両向エネルギービームにより照射される粉末混合物は好ましくは0.4%アルミニウムおよび50%ニッケル（原子%）であり、両向エネルギービームに選ばれた領域の粉末を少なくとも660度の温度に加熱して、粉末の融点を溶融させなければならない。光の照射の場合と同様に、冷却する際に溶融アルミニウムはその目的位置において固相ニッケル粉末粒子を結合させて塊状となす；後続の各層も同様に処理されて、部品を形成する。処理後の高温アニーリングにより、極めて高い融点を有する金属間化合物Ni_{1.4}Alが生成するであろう。Ni_{1.4}Alの融点はいずれ

についての相図である。図13の相図はニッケルおよびスズの各種混合物の融点を示す。元素Niのニッケルとスズの融点はいくらか大雑把に異なり、元素スズの融点が2311度であることを留意すべきである。高い融点を有するニッケルとスズの金属間化合物が存在することと留意すべきである；たとえばNi_{1.8}Snの融点は1260度のオーダーである。

本発明のこの形態によれば、選択的レーザー焼結を受ける粉末にはニッケルとスズの混合物が含まれ、この混合物は好ましくは10〜40%ニッケルおよび60%スズ（原子%）を含む。前記の様式で、層状選択的レーザー焼結法により部品を形成する。好ましくは25ワット以上のレーザーの電力を有する一方向的レーザー、たとえばCO₂またはA₁レーザーが両向エネルギービームを供給する。選択的レーザー焼結に際して、粉末は好ましくは非磁性性質を、たとえば真空中に置かれるか、またはニッケルおよびスズ粉末をフラックス、たとえば塩化亜鉛で被覆することにより粉末の酸化を抑制することができる。同時に選択的レーザー焼結に際して、粉末の周囲温度をたとえば190度のオーダーの温度に高めることが好ましい。これらの条件によりスズが溶融し、ほぼ前記の図14に示した様式でニッケルの粉末粒子に浸透する。層が冷却した時点で（溶融部分から遠ざかるレーザービームの運動と共に開始する）、スズは再び凝固し、凝固したスズ内におけるニッケル粉末粒子の固相材料が形成される。次いで、目的の部品が作成されるまで後続の層が同様に加工される。後続層内のスズの表面にはその部品断面を先行層の断面に結合させる作用があり、従って耐熱材料が層間方式で形成されることに注目すべきである。

部品が形成されたのち、素材は非溶融層を除去した後にその形状を維持するに十分な構造健全性を有する。次いで部品を、たとえば850度までの時間、好ましくは不活性雰囲気中でアニーリングする。このアニーリングに際してニッケルおよびスズ原子が相互に拡散し、化学的に反応して金属間化合物Ni_{1.8}Snを形成する。アニーリングの初期段階のスズの融点を越える温度において、スズの両面により部品の未処理領域の損失が起こる可能性がある。アルミナなどの材料で作成された型で部品を含むことにより、部品はこのアニーリングに際してそ

の前駆物質元素のより高いことに注目すべきである。

上記方法はニッケル-アルミニウム系の金属の熱力学的な宇宙空間用化合物であるNi_{1.4}Alの製造にも利用しうる；この金属間化合物を用いる粉末混合物は25%アルミニウムおよび75%ニッケル（原子%）を含むものである。さらに、25〜50%のアルミニウムを含有する粉末混合物を用いて、熱アニーリングに際して2相材料、すなわちNi_{1.4}Al-Ni_{1.4}Alを製造することができる。たとえば粉末が35%アルミニウムおよび65%ニッケル（原子%）の混合物である場合、本発明のこの形態に従って製造された部品は、平衡状態の成立した場合には2相材料Ni_{1.4}Al-Ni_{1.4}Alであろう。

高い金属間化合物を形成し、上記に述べた温度での選択的レーザー焼結による高温に達していると考えられる他の種々の元素には、下記のものが含まれる（それらに限定されない）：Al-Nd、Al-Th、Al-Ti、Al-Y、Al-Yb、Al-Zr、Bi-La、Bi-Md、Bi-Mg、Bi-Ni、Bi-Zr、Ca-Si、Co-Nb、Co-W、Fe-Ti、Gd-Pb、Gd-Ru、Gd-Ti、In-Pd、In-Pb、In-Pb、Mn-Si、Nb-Sn、Pd-Sn、Pd-Ti、Pd-Ti、Pd-Zr、Pr-Sn、Si-Ti、Sn-Zr、Te-Zr、Th-ZrおよびY-Zr。本発明のこの形態に適合した特性を備えたセリウム系には、La₂O₃・B₂O₃、Bi₂(O₃)₂・La₂O₃、Bi₂(O₃)₂・Nb₂O₅およびY₂O₃・Al₂O₃が含まれる。他の二元系、ならびに三元、四元およびより高い組成の金属およびセラックス（ガラスを含む）の化合物系、前駆物質を両向エネルギービームで照射することにより化学反応が可能となる本発明のこの形態による方法に有用であると考えられる。

さらに、両向エネルギービームによる照射に際して化合物が生成し、これにより部品の後続アニーリングに必要な前駆物質と異なる特性を備えた材料から部品を形成しうることも考慮される。化学反応が起るためには、もちろん反応速度は選択的レーザー焼結のために定められた期間内に前駆物質粉末から化合物への転化が起こるようものであることが必要である。照射ビームに隣接する照射部分の粉末までも溶融、焼結または他の熱による結合を受けるのは望ましくな

いのでこれにより部品の解像度 (resolution) が良くなるであろう。有向エネルギービームが粉末の特定の位置に存在する期間には恐らく粉末の熱伝導により冷却されてあらうという点を留意すべきである。

有向エネルギービームを供給する代わりに、粉末層の選ばれた部分にエネルギーを供給するための他の方法、前記の様式で部品を成形するに必要の溶融または反応を起こさせるのに十分であらうという点を留意すべきである。たとえば粉末に近接してマスクを付与し、これを通して、光線からのエネルギーを受容すべく選ばれた部分の粉末に光線を照射することができ、粉末表面の選ばれた部分に熱エネルギーを供給するその他の方法も同様に適用しうる。

図12を参照すると、さらに他の好ましい形態においては、好ましくは材料1201が表面1200に堆積され、次いで材料1201上に焼結層に材料1203が堆積される。材料1201と1203は、異なる結合または解像度を有することが好ましい。

他例

本発明の基本概念は部品を積層方式で形成することである。すなわち部品は層の断面の断面領域であって、これらが累積して部品の三次元形状を構成すると考えられる。別個の断面領域それぞれは特定の二次元境界をもつ、もちろん各領域が独自の境界をもつものであるとしてもよい。

本方法においては、粉末22をターゲット領域26内に堆積させ、レーザービーム64によって選択的に焼結させて第1焼結層54を形成する(図2)。第1焼結層54は目的部品の第1断面領域と相当する。レーザービームは特定の境界領域内に堆積した粉末22のみを選択的に焼結させる。

もちろん粉末22を選択的に焼結させる別法がある。1方法は、ビームの順序を“ベクター”方式で指し示することである。すなわち、ビームは実際に目的部品の各断面領域の輪郭および内部を指し示する。あるいはビーム64の順序を反復パターンで定義し、レーザー12を調整させる。図2においては、ラスタースキャンパターン66が用いられ、これに基づいてその用意の順序表においてベクターモードより優れている。他の可能法は、ベクター走査法とラスタースキャン法を併用し、

これにより層の目的境界をベクターモードで導引し、内部をラスタースキャンモードで照射することである。もちろん導引方法に伴う欠点がある。たとえばラスタースキャンモードはベクターモードと比較して、ラスタースキャン64のラスタースキャン66の輪8、70に準行でない値および輪8は近接にすぎないという点で不利である。従ってラスタースキャンモードにより製造する際には、場合により部品の解像度が低下する。しかしラスタースキャンモードを用いる際においてはベクターモードより有利である。

図1を参照すると、レーザービーム64の順序はターゲット領域26内で連続ラスタースキャンにおいて定義される。なおおまけに、駆動装置50がラスタースキャン66を形成すべく焼結計48、49を制御する(図2参照)。レーザービーム64の順序がその連続ラスタースキャンで移動する。ラスタースキャン66に目的領域のレーザービームを選択的に生じるべく、コンピュータ40がレーザー12を調整させる。こうしてレーザー12の有向ビームがターゲット領域26内の粉末を選択的に焼結させて、定められた境界を有する目的の断面領域を含む目的の焼結層を形成する。このプロセスが繰り返され、個々の層が互いに焼結して製品部品、たとえば図2の部品52が製造される。

操作に際しては、粉末22中の他の材料に対して粉末中の選ばれた材料によるエネルギー吸収がより高くなるように、レーザー12の波長を調整することができ、焼結に際しては、近接した可溶性程度、構造完全性および要求される機械的動作を含めたためにこれらに規定されない一特性を備えた焼結層を製造すべくブレンドされた、調整された、または他の場合々々の粉末を選択することが

好ましい。

インターフェイスおよびソフトウェア

インターフェイスハードウェアがコンピュータ40をレーザー12および焼結計47、48と動作可能な状態で接続する。コンピュータ40の出力ポート(図1および3参照)は、レーザー12を選択的に制御すべくレーザー12に直接に接続される。パルスモードで動作する割、レーザー12はレーザーのエネルギー入力へのデジタル入力によって容易に制御される。焼結計48は、コンピュータ40からのいかなる制御信号にも関係なく高速走査輪8にビームを駆動すべく、所望発生駆動装置50により駆動される。しかし焼結計48からの位置フィードバック信号が図3に示すように焼結コンピュータ74へフィードされる。コンピュータ74は、コンピュータ40のユーザポートの最下位6ビット (least significant six bits) (ビット0-5) を指示するデジタルアナログ変換器76に接続される。図3に示すように、焼結コンピュータ74の出力はコンピュータ40のユーザポートのフラグラインに接続される。焼結計48からのフィードバック信号がデジタルアナログ変換器76からの信号と交互すると焼結コンピュータが判定した場合、フラグラインというし、マスクング不能な割込みを生じる。従記のように、マスクング不能な割込みはコンピュータ40のユーザポートにたいのデータの発生を生ずる。

最後に、図3に示すようにレーザービーム64の低速走査輪70の順序を駆動させる焼結計49は第2のデジタルアナログ変換器78により制御される。デジタルアナログ変換器78は、高速走査輪8におけるビーム64の順序の各導引に共に関連するカウンタ79により駆動される。この8ビットのカウンタは、高速走査輪8における255回の走査後にオーバーフローして新たなサイクルのラスタースキャンパターン66を開始すべく設計されている。

好ましくは各ラスタースキャン66に対する制御情報(すなわち定められた断面領域の境界) データは、製造すべき部品の体的寸法および形状が与えられたCADシステムにより決定される。プログラムされるもの、または誘導されるもののいずれであっても、各ラスタースキャン66に対する制御情報は1つの8ビットワードとしてコンピュータメモリーに記憶される。デジタルフォーマットは、ビーム64の順序が実行するラスタースキャン66に当たった範囲に対するレーザー12の“オン”および“オフ”領域のパターンを表す。データは、レーザーが調整される(すなわちオンからオフ、またはオフからオンへ変換される)各ラスタースキャン66に当たった範囲を表す“デジタルポイント (digital endpoint)” フォーマットに記憶される。“ビットマップ (bit map)” フォーマットを採用しうるが、デジタルポイントフォーマットのほうが高価な部品の製造には有効であることが認められた。

各8ビットワードについては、最下位6ビット(ビット0-5)は次のデジタルポイント位置—すなわちレーザー12の調整のための位置を表す。次ビット(ビット6)は、最下位6ビットにおいて間定されたデジタルポイントの直前にあってレーザーがオンまたはオフのいずれであるかを表す。最上位ビット (most significant bit) (MSB) (ビット7)は、ビーム64の順序の低速走査輪70をループ (looping) および照射する際に用いられる。コードル64が有するメモリーは限定されない。ループビットが必要であったら大きなメモリーを備えたコンピュータ40にはループビットが必要であると考えられる。

図6は、データ制御プログラムに関するフローチャートを表す。このデータ制御プログラムは、フラグラインが下降してマスクング不能な割込みを引き起こした場合は常に動作する(図3参照)。この割込みは、コンピュータ40のユーザポートに、プログラム制御の決定点に際して伝達されるメモリー位置を指示する2バイト取り込みベクターを構成させる。図6に示されるように、データ制御プログラムはまずレジスタを堆積物上に押し付け、次いで2バイトのデータをキャムデータにロードする。このデータワードはレーザー12を安

画するために用いた第6ビットによるユーザーポートへの出力でもある(図3参照)。

図6に示されるように、アキュムレータ中のデータワードの最上位ビット(MSB)はビット7)が検出される。最上位ビットの値が1である場合、それはループの束縛に達していないことを意味する: 従ってデータポインタを増加させ、レジスタを増量物から引く記憶させ、そしてデータ限定プログラムをエクジューツさせ(execute)、制御を割込み位置のマクロプロセッサに属する。アキュムレータの最上位ビットがゼロである場合、データワードはループの最終ワードである。データワードがループの最終ワードである場合、メモリの次ビットはループカウンタであり、後述の2ビットはループの最上位を示すベクタである。図6から分かるように、最上位ビットがゼロである場合(ループの最後)、ループカウンタ(次ビット)を減少させ、そして分析する。ループカウンタがゼロより大きい場合、データポインタはループカウンタ後の次の2メモリバイトからの値をとり、レジスタは増量物から引き離され、そしてプログラム制御は割込み位置に戻る。他方、ループカウンタがゼロである場合、データポインタは3だけ増加され、ループカウンタはプログラムからエクジューツする前に10にリセットされる。コンピュータ40のメモリアドレスが過剰である場合はこのようなループビグの必要性は免れることができる。

変換例

図4および5に例示部品52を示す。図面から分かるように、例示部品52は対称的でないという点で異例の形状をとり、一般の機械加工法により作成することが困難である。審判のために、部品52は内側キャビティ82およびキャビティ82内に配置された変位(displacement)84を含む円筒形ベース構造80を有するであろう。図5は、図4に示したタレット7の機械26を定める両側構造80(内部の部品52)を示す。図5に示すように、若干の材料は自由であり、一方残りの材料は選択的に機削されて部品52の構造を構成している。図5は部品52の機削した断面部分を示すために、一部を取り去り、ファンタム状に輪郭をとった垂直断面で示される。

る。もちろん熟練造り手および材料製件は得られる許容範囲に実際に影響を及ぼす。一般的な機械加工法が人間の介入および判断を必要とすることは当業者には自明であろう。たとえば一般的な機械加工法、たとえばフライス削り、工員の手、部品のセグメント化、切断順序などの決定を行うために創造力が必要である。これらの決定は、テープ制御方式装置に用いる制御用テープを作成する際にも重要なことになるであろう。これに対し、本発明の装置は製造すべき部品の各断面領域に加工するデータが必要とするにすぎない。これらのデータを単にコンピュータ40にプログラムしておくことができる。コンピュータ40がCAD/CAMシステムを含むことが好ましい。すなわちコンピュータ40のCAD/CAM部分に製造すべき目的部品の全体寸法および形状が与えられ、コンピュータ40は部品の別個の断面領域それぞれに対する境界を決定する。従って部品の情報の膨大な一覧表を記憶し、選択的にコンピュータ40へフィードすることができ、装置10は設定期間、部品固有の成形用具、または人間の介入なしに、特定の部品を製造する。粉末冶金法および一般的キャスティング法に付随する複雑かつ高価なダイが避けられる。

大量生産の装置およびあらゆる種の部品材料特性については一般的加工法を用いて行うのが最も有利であるかも知れないが、本発明の方法および装置は多くの状況において有用である。特に原型機およびキャスティングターンは容易かつ安価に製造される。たとえば砂型鋳造、ロストワックス鋳造その他の成形法に用いるためのキャスティングターンを容易に作成しうる。さらに、目的が極めて少ない場合、たとえば旧式の交換部品については、本発明の装置10を用いてそれらの交換部品を製造することには多くの利点がある。最後に、製造設備の大きさが主な拘束である場合、たとえば船または宇宙においては、装置10の使用が有用であろう。

本発明の装置の他の修正および変更された形態は、以上の記載から当業者に自明であろう。従ってこの記載は説明のためのものにすぎず、当業者に本発明を實踐する方法を示すためのものである。ここに示され、記載された本発明の形態は例示点で持し、本発明であるとは解すべきである。部品の形状、寸法およ

図7は、図4の図7-7に附して得た水平断面領域を示す。図7は、製造される部品の断面領域に伴う前面の第86を露す。図7の機削面86は、図2に示したホウステンパターンの生成物である。

参考のため、機削面86を通る横断線"X"と表示した。図8は横断線に照してのソフトウェアおよびハードウェアインターフェイス操作を表す。最上側のグラフは、高速軸機削計48からのフィードバック信号および第1デジタルアナログ変換器76の出力信号の位置を示す(図3と対比)。電圧コンパレータ74は、フィードバック信号と第1D/A出力信号が交差する度にコンピュータ40のフラグラフへの出力信号を発生する。

図8の最上側のグラフにおいて、これらの交点はグルボイントを表すためにTと表示される。図8の最下側のグラフから分かるように、フラグラインは各グルボイントに対応するマスキング不能誤差を生じる。各データワードの第6ビットを分析すると、レーザ12の現在の状態がこの数値を反映するのである。図8の最後から2番目のグラフは、図7の横断線13に対するレーザ変位信号を示す。図8の2番目のグラフは、高速走査機68におけるレーザビーム64の振動の各横断の終了時に最上位ビットの上昇線(high-going edge)に連通することを示す。図3および6に示すように、カウンタ79が上昇端において増加し、低速軸機削計48を駆動するべく第2デジタルアナログ変換器78へ信号を露する。

図面に示した例から分かるように、複雑な形状の部品を比較的簡単に製造することができる。図4に示した部品52を一般的な機械加工法により製造するのが困難であることは当業者には自明であろう。特に部品52は比較的小さいサイズのものである場合、機械工具による製造はキャビティ82および変位84の加工をたとえ可能であるとしても製造困難なものとするであろう。

この到達の問題が避けられるほか、製造精度は一般的機械工具に与えられるような機械工具の基準および機械部品の精度に依存しないことは自明であろう。すなわち本発明の方法および装置により製造された部品の精度および許容差は主としてエレクトロニクス、オプティクスおよび実行するソフトウェアの質の関数であ

び配列において各々の変更をなすうる。たとえば元素または材料をここに示され、記載されたものと交換し、部品を逆転させ、本発明のある特色を他の特色の採用と独立して採用することができ、これらはすべて本明細書の記載から当業者に自明であろう。

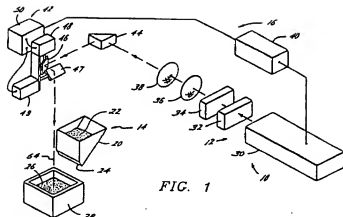


FIG. 1

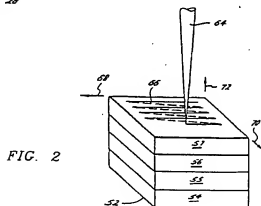


FIG. 2

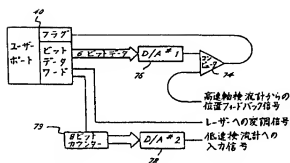


FIG. 3

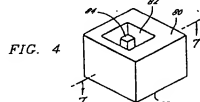


FIG. 4

FIG. 5

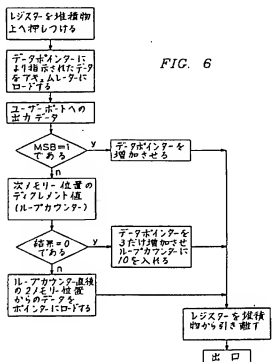
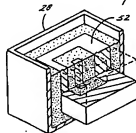


FIG. 6



FIG. 7

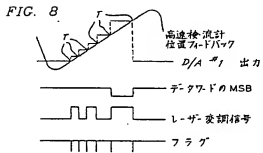


FIG. 8

フロントページの続き

(72)発明者 ウェイス、ウェンディー・エル
アメリカ合衆国ニューメキシコ州8780L,
ソコロ、ビー・オー・ボックス 187